



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

INVOLUCRI CINETICI A MATRICE AMBIENTALE PER EDIFICI NZEB

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

INVOLUCRI CINETICI A MATRICE AMBIENTALE PER EDIFICI NZEB / Rosa Romano. - STAMPA. - (2020), pp. 364-368.

Availability:

This version is available at: 2158/1217902 since: 2020-12-04T11:11:18Z

Publisher:

Maggioli Editore

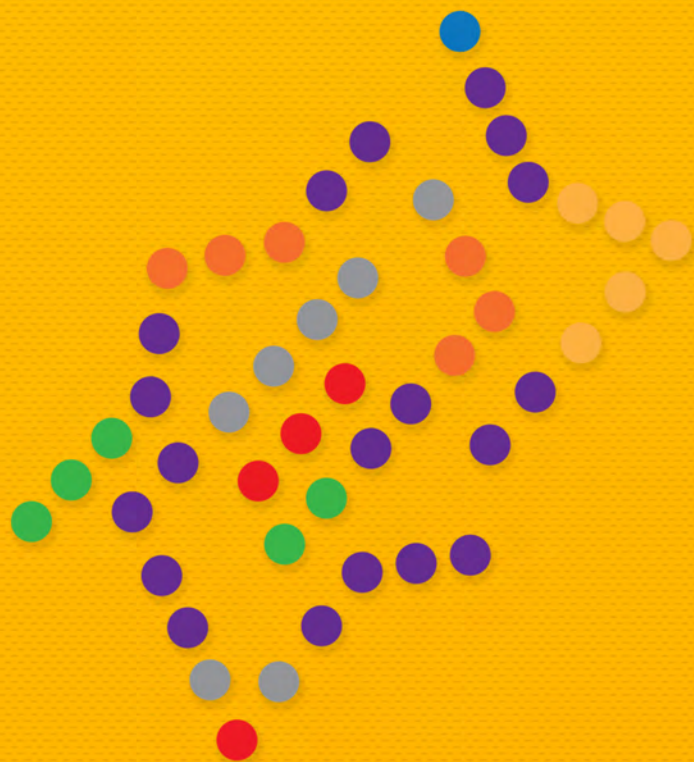
Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)



Design in the Digital Age

Technology
Nature
Culture

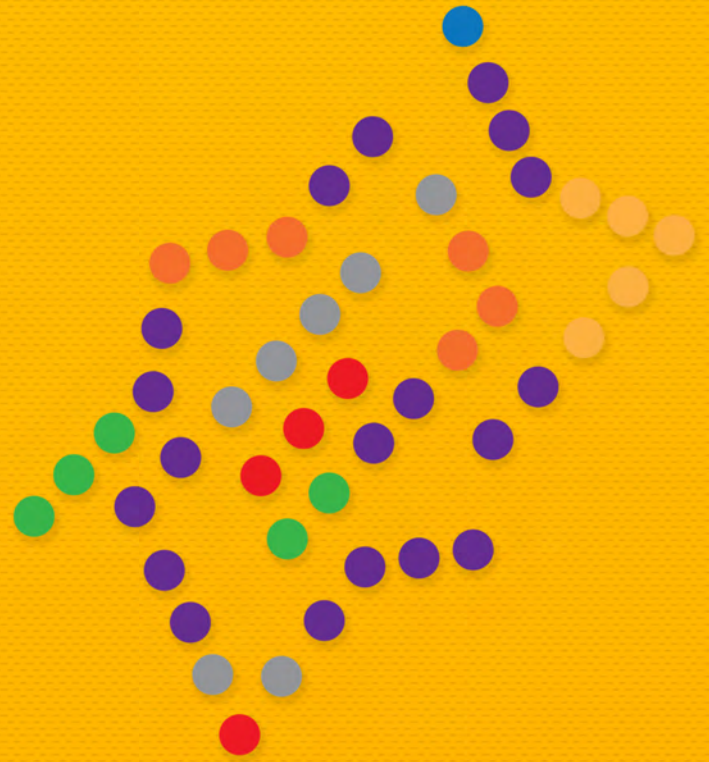


SIT_{dA} Società Italiana della
Tecnologia dell'Architettura



neapōlis 

DIANC \ dipartimento di architettura
università degli studi di napoli federico II



Il Progetto nell'Era Digitale

Tecnologia
Natura
Cultura

a cura di
Massimo Perriccioli
Marina Rigillo
Sergio Russo Ermolli
Fabrizio Tucci

MASSIMO PERRICCIOLI
Professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura
DiARC - Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Napoli Federico II

MARINA RIGILLO
Professore associato di Tecnologia dell'Architettura
DiARC - Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Napoli Federico II

SERGIO RUSSO ERMOLLI
Professore associato di Tecnologia dell'Architettura
DiARC - Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Napoli Federico II

FABRIZIO TUCCI
Professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura
PDTA - Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura
Sapienza Università di Roma

ISBN 978-88-916-4327-8

© 2020 by Authors

Published in November 2020

Maggioli Editore is part of Maggioli S.p.A
ISO 9001 : 2015 Certified Company
47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggiolieditore.it

e-mail: clienti.editore@maggioli.it

All rights reserved. No part of this publication may be translated, reproduced, stored or introduced into a retrieval system, or transmitted, in any form, or by any means (electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise) without prior written permission from the publisher.



Call for paper promossa in occasione del Convegno Internazionale
“Design in the Digital Age. Technology, Nature, Culture”

Napoli, 1-2 Luglio 2021

SITdA - Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura
DiARC - Dipartimento di Architettura - Università di Napoli Federico II

Comitato Scientifico/Scientific Committee

Vicente Guallart, Guallart Architects
Thomas Herzog, Thomas Herzog Architekten, Socio Onorario SITdA
Matteo Lorito, Rettore dell'Università degli Studi di Napoli Federico II
Mario Losasso, Università degli Studi di Napoli Federico II, Past President SITdA
Maria Teresa Lucarelli, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Presidente SITdA
Gaetano Manfredi, Ministro dell'Università e della Ricerca
Fabrizio Schiaffonati, Politecnico di Milano, Socio Onorario SITdA
Bernard Stiegler, Institut de Recherche et d'Innovation, Paris
Martin Tamke, The Royal Danish Academy of Fine Arts, Copenhagen

Coordinamento Scientifico/Scientific Coordination

Ernesto Antonini
Elia Cancelli
Valeria D'Ambrosio
Laura Daglio
Pietromaria Davoli
Massimo Lauria
Elena Germana Mussinelli
Massimo Perriccioli
Sergio Russo Ermolli
Fabrizio Tucci

Segreteria SITdA/SITdA Secretariat

Antonella Violano

Comitato organizzativo di Sede/Coordination Committee of Naples

Paola Ascione
Erminia Attaiatese
Eduardo Bassolino
Mariangela Bellomo
Alessandro Claudi de St. Mihiel
Valeria D'Ambrosio
Paola De Joanna
Katia Fabbicatti
Antonella Falotico
Mattia Leone
Pietro Nunziante
Massimo Perriccioli (responsabile)
Marina Rigillo
Sergio Russo Ermolli
Serena Viola

Coordinamento organizzativo/Organizing Committee

Maria Azzalin
Enza Tersigni

Segreteria organizzativa/Organizing Secretariat

Anita Bianco
Marina Block
Francesca Ciampa
Maria Fabrizia Clemente
Ivana Coletta
Federica Dell'Acqua
Giuliano Galluccio
Giovanni Nocerino
Giuseppe Vaccaro
Giovangiuseppe Vannelli
Sara Verde

Grafica e comunicazione multimediale/Graphic and multimedia communication

Raffaele Catuogno
Vincenzo Pinto

INVOLUCRI CINETICI A MATRICE AMBIENTALE PER EDIFICI nZEB

Rosa Romano¹

Abstract

Partendo dalle definizioni di biomimetica e cinematismo, la trattazione si focalizzerà sul tema degli involucri cinetici ispirati da matrici ambientali. Attraverso l'analisi dello stato dell'arte, saranno descritti i parametri qualitativi e prestazionali che ne caratterizzano la progettazione ed il funzionamento a scala reale, con l'obiettivo di individuare gli innovativi processi realizzativi che hanno contribuito a incrementarne la diffusione e l'integrazione nell'ambito della progettazione sostenibile di edifici nZEB.

Keywords: Adaptive Envelope, Facciate Cinetiche, Biomimetic Design, Additive Manufacturing, nZEB

¹ DIDA – Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, rosa.romano@unifi.it.

Introduzione

Per decenni, architetti e scienziati, hanno immaginato che gli involucri architettonici potessero reagire dinamicamente alle sollecitazioni climatiche per autoregolare in modo efficiente il *comfort indoor* e i consumi energetici degli spazi confinati, replicando la capacità adattiva degli organismi viventi. Questa visione ha alimentato la sperimentazione nel campo dei sistemi di facciata, con l'obiettivo di trasformare l'involucro edilizio da elemento statico a sistema dinamico, in grado di mutare le proprie prestazioni e configurazioni se stimolato dall'ambiente e dagli utenti.

Gli involucri cinetici a matrice ambientale possono in tal senso essere considerati l'ultima frontiera della ricerca architettonica contemporanea e definiscono un nuovo campo epistemologico, al cui interno ripensare al ruolo della Tecnologia nel rapporto tra Cultura e Natura. La progettazione e realizzazione di questi innovativi sistemi di facciata è, inoltre, strettamente connessa alla rivoluzione digitale che ha investito il settore dell'architettura, generando importanti cambiamenti nelle dinamiche dei processi produttivi e realizzativi, nelle quali si delinea un'idea di progetto, sempre più caratterizzata da informazioni e relazioni, che consente connessioni multidimensionali e interagenti tra gli elementi che ne definiscono il campo d'azione.

L'involucro biomimetico a schermo avanzato, eco-efficiente e sostenibile, è diventato così un elemento fondamentale nella generazione di ecosistemi che privilegiano approcci interattivi e relazioni multiple tra le componenti fisiche e tra queste e gli abitanti, garantendo il raggiungimento dei target nZEB, attraverso un processo realizzativo a basso impatto ambientale.

Biomimetica e architettura

La biomimetica può essere definita una disciplina osmotica, fortemente variegata e interrelata con numerosi campi del sapere, tra cui la medicina e l'ingegneria meccanica. Chiaramente relazionata al mondo della biologia sin dalla sua comparsa etimologica, che possiamo attribuire a Schmitt nel 1969, la biomimetica è stata finalizzata a promuovere lo studio dei sistemi naturali secondo un'ottica ingegneristica, strutturale e propria della scienza e tecnologia dei materiali, con l'obiettivo di trovare soluzioni a basso impatto ambientale che potessero essere trasferite dal mondo naturale a quello artificiale, favorendo un enorme travaso di sapere con formidabili risultati in termini di innovazione.

La biomimetica, infatti, offre un nuovo approccio alla soluzione dei problemi ambientali legati al mondo delle costruzioni, attraverso lo studio di quello che avviene nel mondo naturale, da sempre caratterizzato dalla presenza di organismi in grado di reagire in modo efficiente a problematiche funzionali ed energetiche simili a quelle del mondo antropizzato. Di conseguenza l'ispirazione biologica diventa fondamentale per trovare soluzioni efficaci a problemi tecnologici complessi, che richiedono riflessioni adeguate in merito a forma, funzione, dotazione impiantistica e capacità reattiva dell'edificio e dei sottosistemi che lo costituiscono.

Un sistema edilizio biomimetico, necessariamente adattivo, deve quindi essere in grado di interagire con l'ambiente circostante (interno o esterno), elaborando in modo autonomo le informazioni acquisite per trasformarle in una reazione (movimento, deformazione, o cambiamento delle proprietà materiali) che si manifesta per un periodo di tempo determinato, proprio come

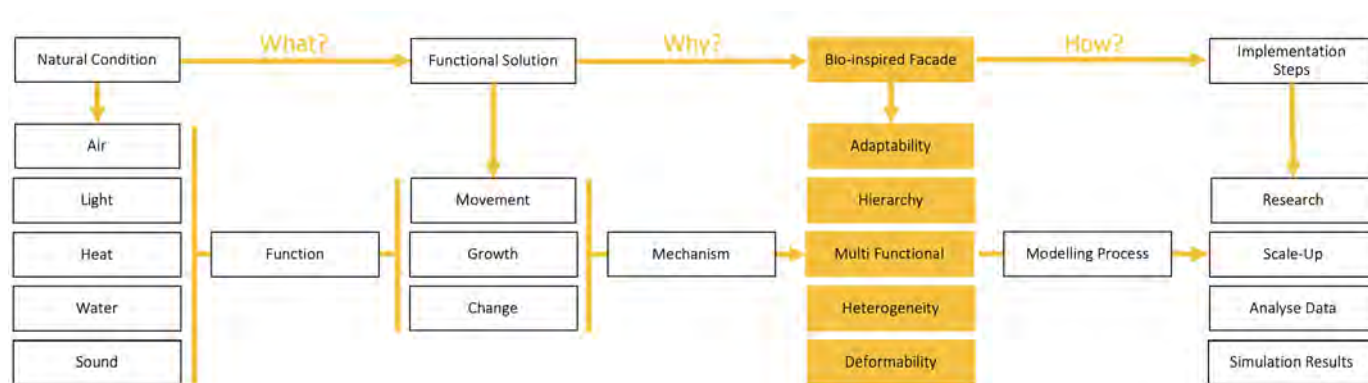


Fig. 1

ogni altro organismo vivente esistente in natura. Il grado di adattabilità (graduale o immediato) può essere relazionato in modo univoco al tempo di reazione (secondi, minuti, ore, ciclo giorno-notte, stagionale, annuale, decennale) ed alla scala spaziale (nano, micro e macro-scala) rispetto alla quale si verifica il cambiamento. Un involucro cinetico a matrice ambientale è, inoltre, caratterizzato dalla presenza di sistemi integrati (materiali e componenti) che sono in grado di modificare estrinsecamente e intrinsecamente le loro funzioni, estetiche o comportamentali, in risposta alla necessità di garantire prestazioni energetiche transitorie rispetto a condizioni al contorno variabili (Linn, 2014).

La dinamicità prodotta dalla dimensione interattiva consente di delineare scenari di progetto diversi e mutevoli e di sperimentare altresì processi flessibili capaci di indurre adattamenti continui (Fig. 1), partendo dalla caratterizzazione di (i) materiali e (ii) componenti edilizi, passando per le (iii) facciate, fino ad arrivare (iv) all'edificio e in alcuni casi, (v) all'intero contesto urbano (Bar Cohen, 2006).

Involucro cinetici a matrice ambientale

I componenti di facciata cinetici possono essere definiti soluzioni tecnologiche in cui uno (o più) elementi del sistema di chiusura esterno ha la possibilità di muoversi, spostarsi o ruotare, cambiando in modo più o meno evidente la configurazione spaziale (forma e posizione) e funzionale dell'edificio.

Il cinematisimo è sempre stato una peculiarità connotante l'architettura; basti pensare alla possibilità di gestire "climaticamente" le funzionalità di porte e finestre delle nostre abitazioni. Gli attuatori meccanici, comparsi in corrispondenza della rivo-

luzione industriale, hanno permesso di incrementare tale versatilità, favorendo la nascita all'inizio del ventesimo secolo di una nuova idea di edificio, pensato come una macchina in grado di modificarsi e muoversi nel tempo. Lo sviluppo di sistemi elettronici e digitali ha rafforzato questa visione, contribuendo a diffondere l'idea che l'architettura potesse manifestare una certa vivacità ed energia tipica degli esseri viventi, evolvendosi attraverso modelli organici e flessibili finalizzati alla sua totale dismissione a fine del ciclo di vita utile.

Le sperimentazioni di R. Buckminster Fuller, F. Otto, S. Calatrava e C. Hoberman hanno dimostrando come lo sviluppo di nuovi sistemi d'involucro, realizzati con materiali leggeri e spesso innovativi, e l'utilizzo di sistemi informatici a supporto della validazione e gestione del progetto, permettessero di realizzare architetture e involucri cinetici funzionanti ed efficaci alla scala reale. Nei loro progetti l'ispirazione al mondo naturale è evidente, così come la volontà di emularlo attraverso l'utilizzo di tecnologie avanzate.

Con l'avvento delle istanze ambientali, anche l'involucro cinetico è stato chiamato a garantire il controllo degli elementi naturali (aria, calore, acqua e luce) attraverso la dotazione di sottosistemi capaci di gestire uno o più dei seguenti fattori: 1) spostamento e trattamento dell'aria (e.g.: bocchette mobili, materiali fotocatalitici); 2) gestione dei flussi energetici passanti, in termini di isolamento e inerzia termica (e.g.: materiali nano-strutturati e a cambiamento di fase); 3) assorbimento, stoccaggio e riutilizzo dell'acqua piovana (e.g. superfici superidrofobiche o superidrofili); 4) captazione e gestione della radiazione solare incidente (e.g.: schermature solari, vetri prismatici e selettivi); 5) favorendo la produzione di energia rinnovabile in loco (e.g.,

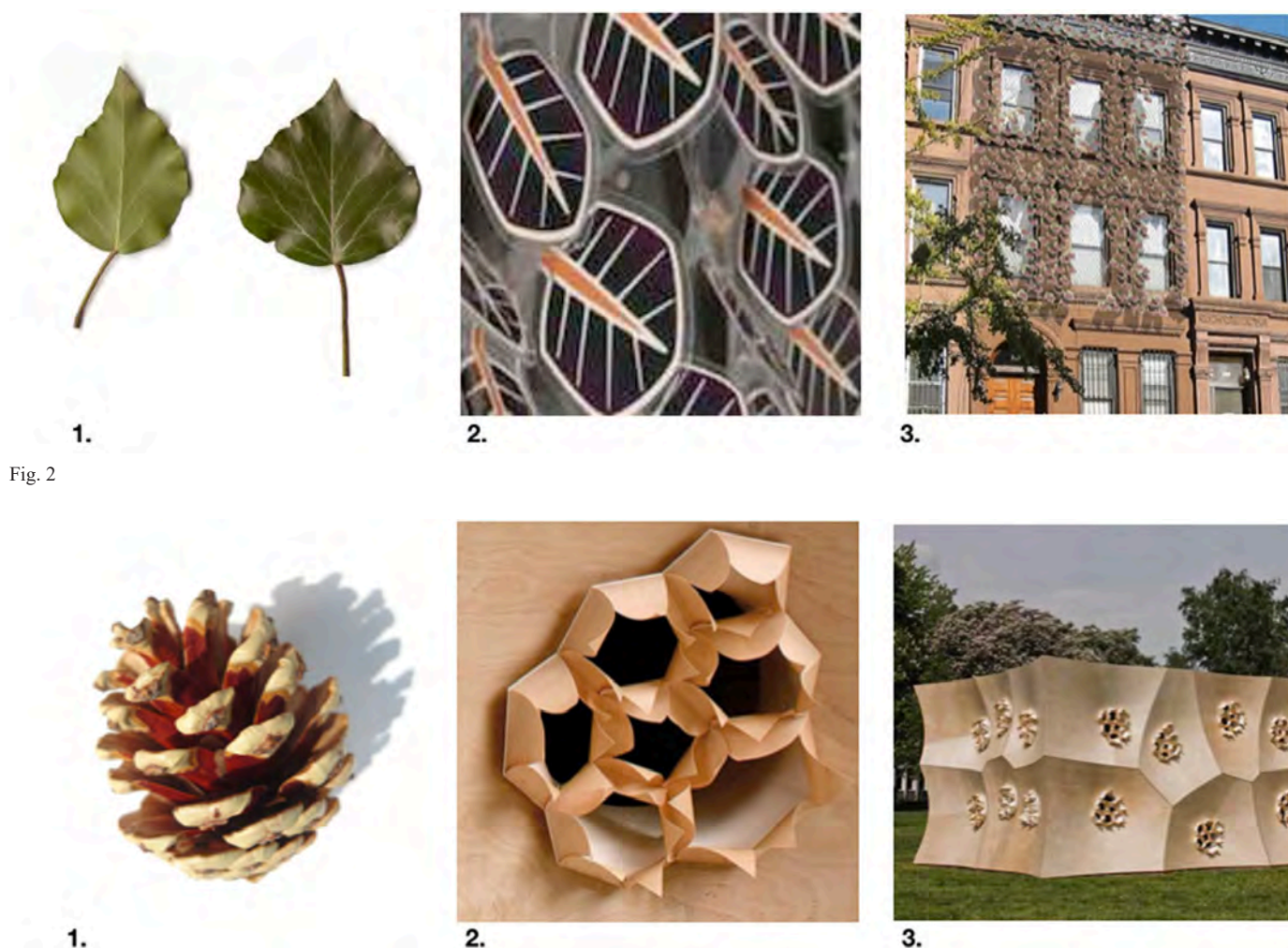


Fig. 2

Fig. 3

pannelli solari fotovoltaici e termici).

Negli ultimi anni, numerose ricerche hanno interessato il settore della progettazione e sperimentazione degli involucri architettonici cinetici influenzati dalla biomimetica, nei quali l'attivazione della capacità adattiva è determinata sia dalla presenza di attuatori meccanici che dalla possibilità di utilizzare materiali che, attraverso processi fisiologici o biofisici, sono in grado di muoversi reagendo a sollecitazioni ambientali esterne.

La possibilità di utilizzare software di gestione e modellazione, oltre che strumenti di *Additive Manufacturing*, basati sul concetto *file-to-factory*, ha, inoltre, favorito la digitalizzazione del processo realizzativo dei sistemi di facciata adattivi bioispirati, incoraggiando la diffusione di strumenti informatici innovativi BIM e BEM per la progettazione (e.g.: Inventor, Ladybug Tools, Rhino, EnergyPlus, Building Integrated Modeling, Grasshopper) e realizzazione (e.g.: sinterizzazione laser selettiva, stereolitografia, stampa 3D, modellazione a deposizione fusa) di prototipi o parti di edificio, partendo direttamente dai modelli tridimensionali virtuali ispirati al mondo vegetale e animale, e usando per la loro costruzione prevalentemente "materiali digitali" polivalenti (Rudgley, 2001). Ciò significa produzione senza avvitamento, incollaggio, unione e montaggio manuali.

Ne consegue che le proprietà biomimetiche di un sistema di facciata cinetico non sono necessariamente correlate alla geometria della soluzione tecnologica d'involucro ma talora, possono influenzarne la morfologia. A tal proposito è interessante riprendere la classificazione suggerita da M. Pedersen (Pedersen Zari, 2010) che suddivide i componenti edilizi cinetici e bioispirati in due macro-categorie, in relazione a: 1) forma e 2) funzione.

Al primo gruppo afferiscono le soluzioni tecnologiche che richiamano in modo inequivocabile nell'aspetto morfologico

il sistema biologico o l'organismo vivente a cui sono ispirate, come ad esempio: le "foglie fotovoltaiche" a film sottile SMIT "Solar Ivy", progettate per produrre energia e schermare lo spazio confinato (Fig. 2); il prototipo Meteorosensitive Architecture sviluppato da S. Reichert (2014), chiaramente ispirato dalla morfologia e dal comportamento igroscopico dello strobilo (Fig. 3); il sistema di facciata "Living Glass" (Fig. 4), che imita il comportamento delle branchie dei pesci, grazie alla presenza nella sua superficie trasparente di parti realizzate con materiale a memoria di forma sensibile alla CO₂, in grado di aprirsi e chiudersi favorendo il ricambio dell'aria all'interno dell'edificio (Geiger, 2010); l'installazione artistica "Articulated Cloud" di N. Kahn per il Children's Museum di Pittsburg (Fig. 5), nella quale una cortina di elementi polimerici integrati nella facciata doppia pelle, è in grado di muoversi imitando il cinemismo delle ali di una libellula (Linn, 2014).

Al secondo gruppo, appartengono i sistemi architettonici che, pur non avendo un aspetto necessariamente ispirato al mondo naturale, riescono a replicarne il comportamento in termini cinetici e termoigrometrici. È questo il caso: dei sistemi d'involucro realizzati con bimetalli dall'americana D. Sung (Hawkes ed altri, 2010), nei quali elementi modulari di piccole dimensioni costituiti da due fogli di alluminio hanno l'abilità di piegarsi in pochi secondi in modo autonomo e senza la presenza di attuatori; dei componenti di facciata di T. Šuklje (2013) e S. Mazzucchelli (2018) nei quali celle fotovoltaiche BIPV sono integrate a micro-lamelle di legno a comportamento igroscopico; delle lamelle schermanti "Flectofin", brevettate da J. Knippers e integrate nella facciata del padiglione *One Ocean* realizzato in occasione dell'EXPO 2012 a Yeosu (Fig. 6), la cui forma geometrica ed il funzionamento sono state ispirate dalla *strelitzia*

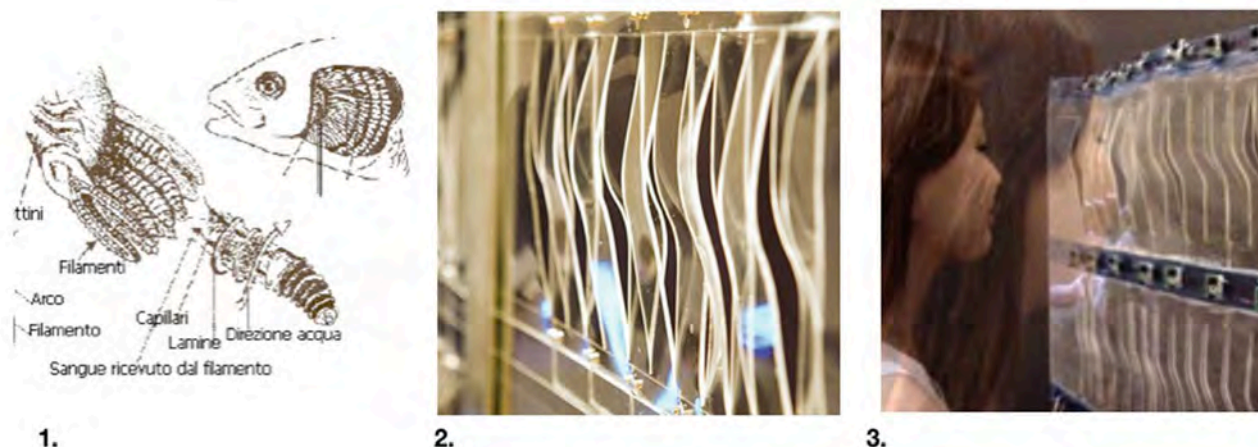


Fig. 4

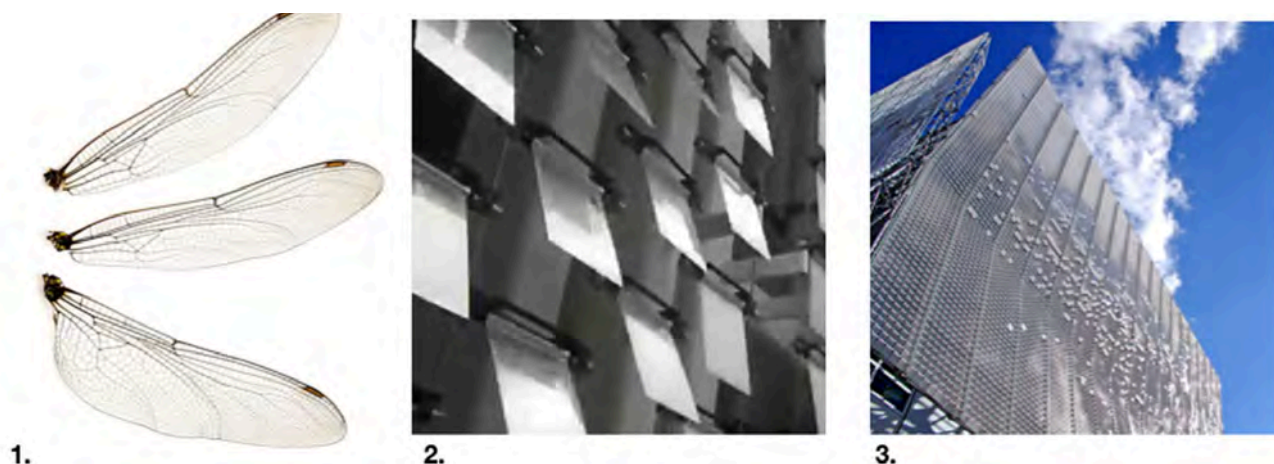


Fig. 5

reginae (Knippers and Speck, 2012).

È evidente come in tutti gli esempi presentati esiste una chiara relazione tra l'involucro dell'edificio e il suo equivalente biologico, relazione che incarna necessariamente una caratteristica funzionale capace di influenzare positivamente le prestazioni energetiche dell'edificio.

La possibilità di emulare in tutto o in parte il comportamento degli organismi viventi attraverso l'ispirazione biomimetica rende, quindi, fondamentale l'abilità responsiva di questi involucri cinetici, le cui prestazioni energetiche e funzionali contribuiscono alla creazione di habitat in grado di rispondere a contesti ambientali variabili, in virtù della capacità adattiva e informativa degli elementi e dei materiali di cui essi si compongono, emulando la Natura nei suoi caratteri trasformativi ed evolutivi.

Conclusioni

Dai paragrafi precedenti si evince come lo sviluppo di progetti, prodotti, processi e sistemi biomimetici legati al mondo dell'architettura, necessità di un'organizzazione metodologica innovativa tale da poter gestire l'artificializzazione, formale e/o funzionale, delle soluzioni partendo dalla natura per arrivare al modello finale, diversamente da quanto avviene in altri settori della scienza applicata che si occupano di sintetizzare i bioprodotti partendo dalla tecnologia.

Risulta, inoltre, evidente come la progettazione di involucri cinetici a matrice ambientale implichi l'utilizzo, in tutte le fasi del processo, di strumenti informatici che permettano di controllare nel dettaglio le caratteristiche formali e funzionali di elementi complessi, materiali e immateriali, integrabili nel sistema di facciata per garantirne l'adattabilità.

La digitalizzazione dei processi creativi e produttivi, la possibilità di utilizzare materiali nanostrutturati con capacità adattiva, l'evoluzione legata all'integrazione di sistemi elettronici basati sul concetto di intelligenza artificiale, in grado di trasferire agli edifici la capacità cognitiva degli esseri viventi, apre, quindi, nuovi scenari di progettazione e sperimentazione nel settore degli involucri di facciata. Le nuove tecnologie di produzione cambieranno, infatti, il modo in cui progettiamo e produciamo, nonché il modo in cui trattiamo i beni di consumo e l'ambiente costruito.

La ricerca in atto a scala globale indica, infine, l'aspirazione a sviluppare sistemi architettonici sofisticati, capaci di rispondere alle sfide imposte dall'era digitale. Si tratta di edifici, che proprio come gli organismi viventi, saranno in grado di modificare le loro posture, correggere automaticamente o dinamicamente qualsiasi deformazione nelle loro strutture, ridurre i loro pesi e riconfigurarsi fisicamente per soddisfare nel tempo le esigenze degli utenti senza incidere negativamente sull'ambiente naturale.

È evidente quindi che la capacità di replicare i modelli di adattamento presenti in natura, attraverso involucri performanti, diventerà fondamentale per garantire la riduzione delle emissioni climalteranti imputabili al settore delle costruzioni, incidendo positivamente sul cambiamento climatico in atto e sulle conseguenze sociali ed economiche che questo potrebbe avere sulla sopravvivenza delle generazioni future.

References

- Bar Cohen, Y. (2006), *Biomimetics: Biologically inspired Technologies*, Taylor & Francis, London-New York.
- Hawkes, E., An, B., Benbernou, N. M., Tanaka, H., Kim, S., Demaine, E. D., et al. (2010), "Programmable matter by folding", proceedings of the

- National Academy of Sciences, vol. 107 (28), Cambridge, MA, July 13, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, pp. 12441-12445.
- Khosromanesha, R. and Asefibi, M. (2019), "Form-finding mechanism derived from plant movement in response to environmental conditions for building envelopes", *Sustainable Cities and Society*, vol. 51, pp. 1-13.
- Knippers, J. and Speck, T. (2012), "Design and construction principles in nature and architecture", *Bioinspiration Biomimetics*, vol. 7 (1), pp. 1-10.
- Linn, C. (2014), *Kinetic architecture: design for active envelopes*, Images Publishing, Melbourne.
- Mazzucchelli, E. S., Alston, M. and Doniacovo, L. (2018), "Combining timber and photovoltaic technologies: study of a BIPV wooden adaptive system", *JFDE*, vol.6 (3), Delft.
- Pedersen Zari, M. (2010), "Biomimetic design for climate change adaptation and mitigation", *Architectural Science Review*, vol. 53, pp. 172-183.
- Reichert, S., Menges, A. and Correa, D. (2014), "Meteorosensitive architecture: biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness", *Comput-Aided Design*, vol. 60, pp. 50-69.
- Schmitt, O. H. (1969), "Some interesting and useful biomimetic transforms", proceedings of the 3rd International Biophysics Congress, Boston, Massachusetts, August 29 September 3rd, 1969, IUPAB, Stockholm, p. 297.
- Šuklje, T., Medved, S. and Arkar, C. (2013), "An experimental study on a microclimatic layer of a bionic façade inspired by vertical greenery", *Journal of Bionic Engineering*, vol. 10 (2), pp. 177-185.

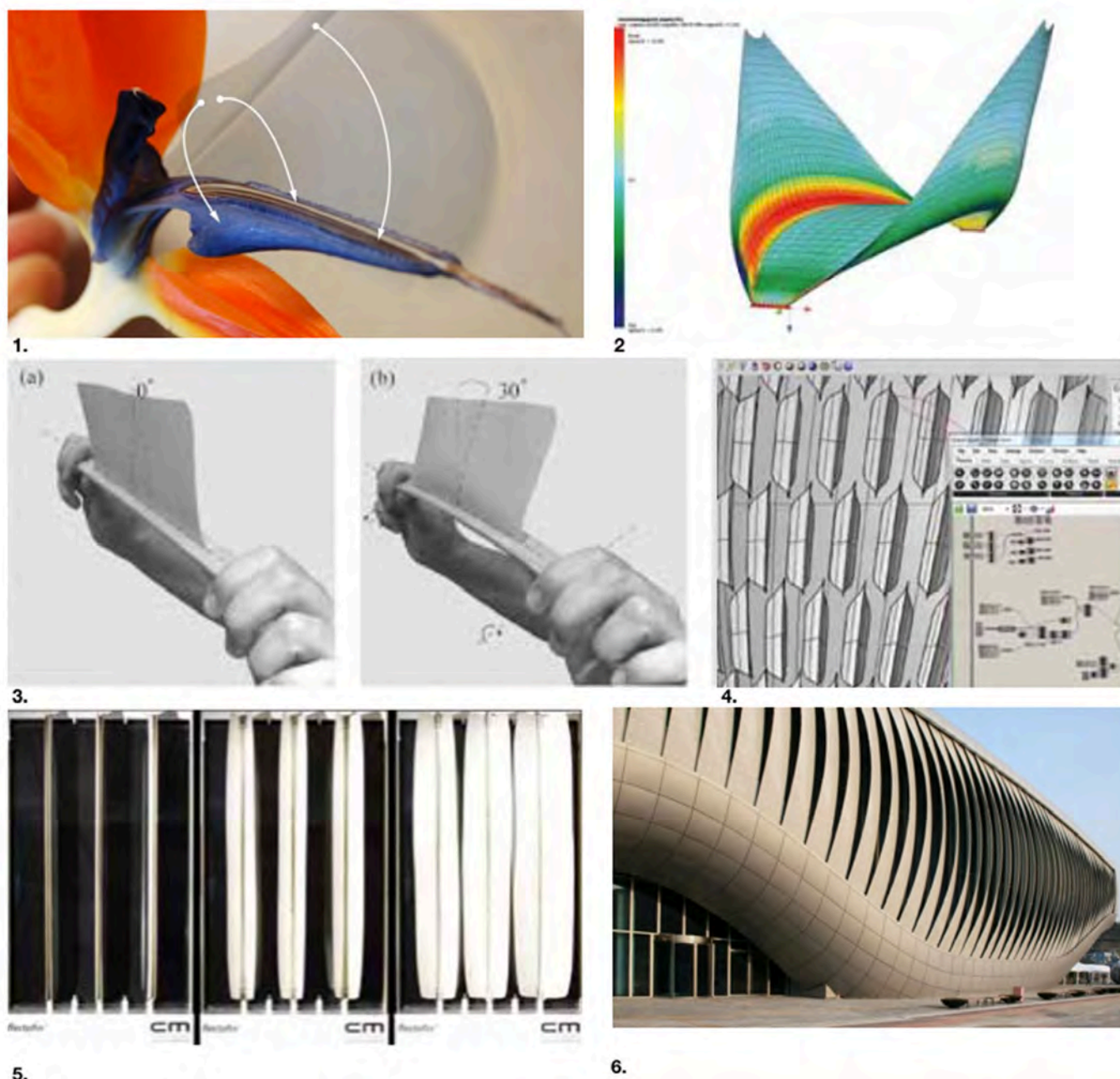


Fig. 6

Fig. 1 - Approccio metodologico al progetto di involucri biomimetici. Fonte: Khosromanesh, R., Asefi, M. (2019), "Form-finding mechanism derived from plant movement in response to environmental conditions for building envelopes", available at <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670719308777>

Fig. 2 - Foglie fotovoltaiche a film sottile SMIT Solar Ivy: 1. Ispirazione biomimetica: forma e movimento delle piante rampicanti parietali; 2. Sviluppo prototipale; 3. Esempio di integrazione architettonica. Fonte: http://www.solaripedia.com/13/285/3163/solar_ivy_townhouse.html

Fig. 3 - Sistema di involucro Meteorosensitive Architecture: 1. Ispirazione biomimetica: morfologia e comportamento igroscopico dello strobilo; 2. Sviluppo prototipale; 3. Integrazione architettonica nel padiglione HygroSkin-Meteorosensitive a Stadtgarten, Stoccarda. Fonte: <http://www.achimmenges.net>

Fig. 4 - Sistema di facciata Living Glass: 1. Ispirazione biomimetica: comportamento delle branchie dei pesci; 2. Sviluppo prototipale con l'utilizzo di polimeri a memoria di forma, sensibili alla CO_2 ; 3. Esempio realizzativo. Fonte: <https://inhabitat.com/carbon-dioxide-sensing-living-glass/>

Fig. 5 - Sistema di schermatura Articulated Cloud: 1. Ispirazione biomimetica: il cinematisimo delle ali di una libellula; 2. Sviluppo prototipale con l'utilizzo di polimeri integrati su supporto metallico in alluminio; 3. Integrazione architettonica nell'installazione artistica di N. Kahn per il Children's Museum di Pittsburg. Fonte: <http://nedkahn.com>

Fig. 6 - Lamelle schermanti Flectofin: 1. Ispirazione biomimetica: forma e caratteristiche della strelitzia reginae; 2. Sviluppo del concept preliminare con software BEM; 3. Realizzazione prototipale funzionale alla verifica delle caratteristiche geometriche e meccaniche del modulo di schermatura; 4. Modellazione virtuale con software BIM, finalizzata alla validazione delle potenzialità inerenti l'integrazione in sistemi di facciata complessi; 5. Realizzazione prototipale esecutiva; 6. Integrazione architettonica nella facciata del padiglione One Ocean realizzato in occasione dell'EXPO 2012 a Yeosu. Fonte: http://www.simonschleicher.com/flectofin_brochure.pdf